

ISBN: 978-85-68242-99-5

EIXO TEMÁTICO:
( ) Ambiente Construído e Sustentabilidade
( ) Arquitetura da Paisagem
( ) Cidade, Paisagem e Ambiente
( ) Cidades Inteligentes e Sustentáveis
( ) Engenharia de Tráfego, Acessibilidade e Mobilidade Urbana
(X) Meio Ambiente e Saneamento
( ) Patrimônio Histórico: Temporalidade e Intervenções
( ) Projetos, Intervenções e Requalificações na Cidade Contemporânea

Destinação de resíduos orgânicos de poda urbana por meio de biocarvão aplicado ao solo: análise de curvas de compactação

Destination of urban pruning organic waste by means of biochar applied to the soil: analysis of compaction curves

Destinación de residuos orgánicos de poda urbana mediante biochar aplicado al suelo: análisis de curvas de compactación

Marcela Merides Carvalho
Doutoranda em Ciências Ambientais, ICTS/UNESP, Brasil.
marcela.merides@hotmail.com

Willian Kazuhissa Koh
Engenheiro Ambiental, UNESP, Brasil.
willian.koh@hotmail.com

Admilson Írio Ribeiro
Professor Doutor, ICTS – Instituto de Ciência e Tecnologia Sorocaba, Brasil.
admilson.irio@unesp.br

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.com

RESUMO

Os resíduos de poda urbana podem ter usos múltiplos desde a lenha na queima direta como energia até mesmo sua utilização como adubos orgânicos no processo de compostagem. No entanto, a falta de locais adequados para a disposição desse tipo de resíduo constitui em um problema para municípios com larga urbanização. Dessa forma, o "biochar" ou biocarvão apresenta se como uma proposta alternativa de destinação dos resíduos orgânicos de poda urbana. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo verificar o comportamento de curvas de compactação de um solo por meio da aplicação de biocarvão, como forma de condicionamento e destinação de resíduo. A coleta de solo foi realizada no Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba (ICTS –UNESP Sorocaba) seguida de secagem e peneiramento para a caracterização do solo por meio da análise granulométrica. Os testes foram realizados com aplicação de Biocarvão no solo utilizando-se do Ensaio de Compactação Proctor Normal (NBR 7182/1986) em 35 t/ha e de 70 t/ha em diferentes texturas. Os dados das curvas de compactação e análise estatística comparativa apresentaram resultados satisfatórios. Os resultados expõem uma redução do peso específico máximo e aumento da umidade ótima em todas as amostras com aplicação de Biocarvão. Sendo assim, a proposta de redestinação de resíduos orgânicos de poda urbana por meio de biocarvão aplicado ao solo pode ser considerada uma alternativa para a gestão urbana de resíduos orgânicos de poda podendo auxiliar no gerenciamento integrado dos resíduos sólidos.

PALAVRAS-CHAVE: Arborização urbana; Gestão de resíduos; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Urban pruning waste can have multiple uses from direct burning wood as energy to its use as organic fertilizers in the composting process. However, the lack of suitable places for the disposal of this type of waste is a problem for municipalities with large urbanization. Thus, "biochar" presents itself as an alternative proposal for the disposal of urban pruning organic waste. In this context, the present work aimed to verify the behavior of soil compaction curves through the application of biochar as a form of conditioning and waste disposal. Soil collection was carried out at the Institute of Science and Technology of Sorocaba (ICTS –UNESP Sorocaba) followed by drying and sieving for soil characterization through particle size analysis. The tests were performed with application of biochar in the soil using the Proctor Normal Compaction Test (NBR 7182/1986) at 35 t/ha and 70 t/ha in different textures. The data of the compaction curves and comparative statistical analysis presented satisfactory results. The results expose a maximum specific weight reduction and optimum humidity increase in all samples with application of biochar. Thus, the proposal for the redestination of urban pruning organic waste by means of biochar applied to the soil can be considered an alternative for urban management of pruning organic waste and may help in integrated solid waste management.

KEYWORDS: *Urban afforestation. Waste Management. Sustainability.*

RESUMEN

Los desechos de poda urbana pueden tener múltiples usos, desde la quema directa de madera para obtener energía hasta su uso como fertilizantes orgánicos en el proceso de compostaje. Sin embargo, la falta de lugares adecuados para la eliminación de este tipo de residuos es un problema para los municipios con gran urbanización. Por lo tanto, "biochar" se presenta como una propuesta alternativa para la eliminación de residuos orgánicos de poda urbana. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo verificar el comportamiento de las curvas de compactación del suelo mediante la aplicación de biochar como una forma de acondicionamiento y eliminación de residuos. La recolección de suelo se llevó a cabo en el Instituto de Ciencia y Tecnología de Sorocaba (ICTS –UNESP Sorocaba) seguido de secado y tamizado para la caracterización del suelo mediante análisis de tamaño de partícula. Las pruebas se realizaron con la aplicación de biochar en el suelo usando la Prueba de compactación normal Proctor (NBR 7182/1986) a 35 t/ha y 70 t/ha en diferentes texturas. Los datos de las curvas de compactación y el análisis estadístico comparativo presentaron resultados satisfactorios. Los resultados exponen una reducción de peso específica máxima y un aumento de humedad óptimo en todas las muestras con la aplicación de biochar. Por lo tanto, la propuesta para la redestinación de los residuos orgánicos de poda urbana mediante el biochar aplicado al suelo puede considerarse una alternativa para la gestión urbana de la poda de residuos orgánicos y puede ayudar en la gestión integrada de residuos sólidos.

PALABRAS CLAVE: *Repoblación forestal urbana. Gestión de Residuos. Sostenibilidad.*

1. INTRODUÇÃO

Na mesma tendência do crescimento populacional urbano ocorre também o aumento do volume de resíduo sólido gerado nas cidades. Nesse contexto, os resíduos de poda urbana, mesmo com usos múltiplos desde a queima como lenha para geração de energia até utilização como adubos orgânicos, apresentam um grande desafio de manejo e destinação dentro dos municípios. Destaca nesse cenário, o volume de material e a falta de locais adequados para a disposição desse tipo de resíduo. Considerando esses fatores, soma-se a escassez de modelos eficientes para a gestão dos resíduos de podas da arborização urbana e também o elevado custo de algumas técnicas para seu tratamento resultando em inúmeros problemas ambientais, devido à disposição inadequada desses materiais (Chalupe, 2013).

Segundo a NBR 10.004/2004 os resíduos de poda são classificados como resíduo sólido classe II, ou seja, não perigosos. Caso ocorra a disposição deste tipo de resíduo em lugares abertos, como aterros sanitários, poderá causar uma série de problemas, pois além de diminuir a capacidade do aterro, ele pode se misturar com outros resíduos preexistentes, causando impactos ambientais, como o aumento do risco de incêndio em aterros e terrenos baldios, a degradação da paisagem e poluição do ar e da água. Dessa forma, a busca por alternativas para a utilização e redestinação dos resíduos orgânicos, principalmente os de poda de árvores tornou-se um desafio para uma urbanização sustentável (Andreolli et al., 2014).

Nesse contexto, a colocação de biocarvão no condicionamento de solos pode apresentar bons resultados na gestão ambiental de resíduos orgânicos em cidades. Estudos realizados na última década comprovam a capacidade da terra preta ou biocarvão de acumular matéria orgânica possibilitando o aumento da fertilidade e o armazenamento de carbono em solos tropicais. Dentre os benefícios da aplicação do carvão como condicionador do solo, além de alta fertilidade, estão alto conteúdo de carbono estável em sua fração orgânica e elevação da atividade biológica contribuindo nas características de formação e promoção de crescimento esses solos (Schoenholtz et al., 2000; Kim et. al., 2007).

Atualmente a intensificação do processo de urbanização pode ser considerada um dos grandes indutores dos problemas ambientais devido ao uso e ocupação de terras, levando à retirada da vegetação e degradação dos solos (Rolnik; Klink, 2011; Stefanosk et al., 2013; Stanganini; Lollo, 2018). Desta forma, o “biochar” ou biocarvão incorporado ao solo se apresenta como uma prática alternativa de manejo com grande potencial para melhoramento do solo, contribuindo na recuperação e conservação dos solos (Tiecher et al., 2016; Guilhen, 2018; Kumar et al. 2019).

O termo “biochar” resulta de “biomass + charcoal” (biomassa + carvão, em inglês) essa ideia surgiu da observação da existência da nossa “terra preta dos índios” em solos da Amazônia brasileira. O “biochar” é produzido basicamente com a queima de matéria orgânica em ambientes com pouco ou zero de oxigênio. O processo é conhecido como pirólise ou gaseificação, o mesmo processo que é utilizado para criar carvão de madeira (Mangrich et al., 2011). A principal função do Biochar é baseada nos seguintes benefícios: (1) melhoria do solo, (2) sequestro de carbono, (3) produção de energia neutra em carbono, (4) gestão de resíduos e (5) proteção da qualidade da água através de maior eficiência na utilização de nutrientes (Brick, Madison, 2010).

Apesar de diversas pesquisas tratarem das alterações nas propriedades do solo provenientes da utilização do biochar, poucas avaliam os efeitos da aplicação do biocarvão à resposta do solo a compactação e seu o potencial de utilização no manejo sustentável (Verheijen et al., 2010). Nesse escopo, o presente trabalho teve como objetivo verificar o comportamento de curvas de compactação de um solo por meio da aplicação de biocarvão, como forma de condicionamento e destinação de resíduo.

2. METODOLOGIA

O solo utilizado no presente estudo foi coletado no Campus da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) no município de Sorocaba/SP. Retirou-se aproximadamente 40 kg de solo sub-superficial com o auxílio de uma pá, desconsiderando o horizonte orgânico, pois a matéria orgânica pode influenciar nos resultados de peso específico. O solo foi armazenado em baldes, e dispostos em bandejas para secagem durante 15 dias antes de cada ensaio. Em seguida foi realizado o peneiramento do solo em peneira de malha 4,75mm (ASTM 4/TYLER 4) e caracterização do solo através da análise granulométrica.

O biocarvão utilizado nos testes foi o carvão de eucalipto (*Eucalyptus grandis*, primeiramente o carvão foi rompido até que atingir uma textura mais fina. Em seguida separou-se os grãos de carvão em quatro diâmetros diferentes, utilizando as peneiras de 2mm (ASTM 10), 1,18mm (ASTM 16), 600μm (ASTM 30), 300μm (ASMT 50), 150μm (ASTM 100) e 75μm (ASTM 200). Sendo as parcelas de biocarvão com diâmetro entre 75μm e 600μm "textura fina", e entre 600μm e 2mm "textura grossa". Como elemento descritivo utilizou se da letra Ø como simbologia do diâmetro retido no peneiramento. Exemplo: 75μm < Ø< 600μm.

As taxas de aplicação de biocarvão no solo foram de 35 t/ha e de 70 t/ha. Dessa maneira, buscou se por meio dessas dosagens identificar o contraste entre as aplicações, ou seja, quantidades [toneladas] e granulometrias [tamanho das partículas de carvão]. A quantidade e textura foram ajustadas de acordo com a área da superfície do cilindro de 0.79 cm^2 e sua profundidade 12,75 cm com cilindro de Ensaio de Compactação Proctor Normal (ABNT NBR 7182/1986) e o cálculo da proporção de Biocarvão aplicada ao solo em cada ensaio seguiu a equação abaixo:

$$M_{bio} = \frac{M_{biocil} \cdot M_{solo}}{M_{1000cm^3}}$$

Onde :

M_{bio} = Massa de Biocarvão a ser aplicada (g);

M_{biocil} = Massa de Biocarvão para a superfície do cilindro (g);

M_{solo} = Massa de solo (g);

M_{1000cm^3} = Massa do solo seco e peneirado no cilindro de 1000 cm³ (1288g).

Para cada ensaio de compactação a massa de solo utilizada foi de 3kg, +/- 0,1 g e a massa de Biocarvão utilizada foi descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade de Biocarvão aplicada ao solo

Taxa de aplicação (t/ha)	Massa de carvão (g)	Porcentagem sobre a massa total de solo (%)
35	65,2	2,2
70	130,4	4,4

2.1. Ensaio de compactação Proctor Normal

O ensaio proctor normal foi realizado mediante o uso de um aparelho marca Soiltest modelo CN-4230, sendo a amostra compactada em um anel metálico de, aproximadamente, 0,001 m^3 conforme a Norma Técnica ABNT/NBR 7182/86 o ensaio foi realizado em três camadas de solo sendo que cada camada recebeu 26 golpes de um soquete de 2,50 kg caindo de uma altura de 0,305 m correspondendo a uma energia de compactação próximo de de 60,2 kJ m^3. Assim, utilizando se de aproximadamente 3kg de solo peneirado e seco na etapa anterior, adicionou-se 5% de água (a partir da massa total de solo), até que atingir uma consistência homogênea. Dessa maneira, inicia se o primeiro ensaio de compactação sem a adição de biocarvão e sucessivamente com a variação da umidade.

O procedimento foi realizado para diferentes texturas e quantidades de biocarvão sendo classificadas com as siglas que se diferenciam em S (Solo testemunho sem aplicação), B (biocarvão grosso), b (biocarvão fino), t (menor taxa de aplicação 35kg/ha) e T (maior taxa de aplicação 70kg/ha). Foram realizadas quatro repetições para cada tratamento

- Amostra 1 (“S”): 3kg de solo;
- Amostra 2 (“SBt”): 3kg de solo + 65g de biocarvão (600µm< Ø<2mm);
- Amostra 3 (“SBT”): 3kg de solo + 130g de biocarvão (600µm< Ø<2mm);
- Amostra 4 (“Sbt”): 3kg de solo + 65g de biocarvão (75µm < Ø< 600µm);
- Amostra 5 (“SbT”): 3kg de solo + 130g de biocarvão (75µm < Ø< 600µm);

A curva de compactação foi obtida a partir do gráfico do *Peso específico seco* (γ_d) nas ordenadas e Teor de umidade (w) nas abcissas de cada amostra. Sendo:

Teor de Umidade (%)

$$w = \frac{(Mu - Ms)}{Ms} \times 100$$

Onde:

w = Teor de Umidade (%);

Mu = massa de solo úmido armazenado na cápsula de secagem (g);

Ms = massa de solo seco armazenado na cápsula de secagem (g);

Peso específico seco

$$\gamma_d = \frac{\gamma \cdot 100}{100 + w}$$

Onde:

γ_d= Peso específico seco (kg/m³);

γ = Peso específico úmido (kg/m³);

w = Teor de Umidade (%).

2.2. Análise Estatística dos dados

A análise estatística dos dados foi realizada com auxílio do software ASSISTAT Versão 7.6 beta (2012) num delineamento inteiramente casualizado (DIC). Sendo assim, realizou se a análise de variância (ANOVA) finalizando com aplicação de um teste de média (Tukey, 5%). As variáveis analisadas foram máximo peso específico e de umidade ótima de cada ensaio, os tratamentos foram (S, SBt, SBT, Sbt, SbT), e foram realizadas 4 repetições.

3. RESULTADOS

A umidade Ótima e Peso Específico Seco Máximo foram analisados e verificou-se em cada ensaio os valores onde atingiu maior peso específico para uma determinada umidade, os valores do teor de umidade ótima (w) e de peso específico máximo conforme Tabela 2.

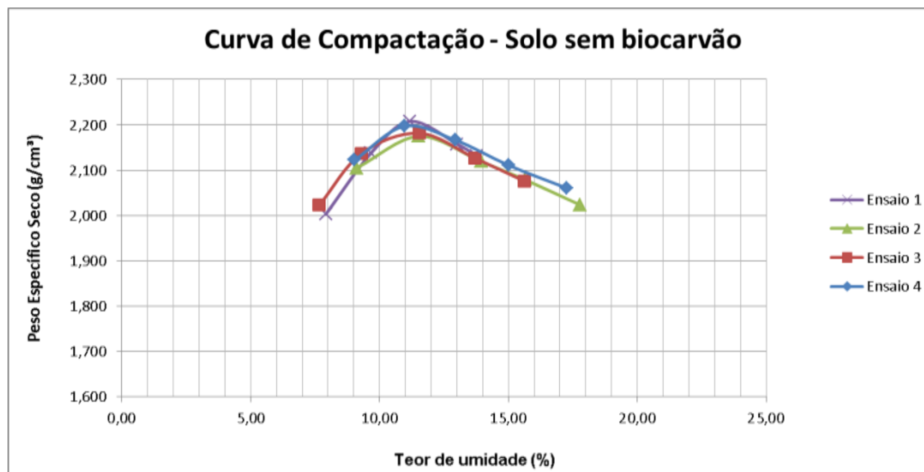
Tabela 2 – Umidade Ótima e Peso Específico Seco Máximo

Ensaio	Tratamento	Repetição	Dados	
			$w_{ótima}$ (%)	$\gamma_{d\ máximo}$ (g/cm³)
1	1 “S”	1	11,19	2,21
2	1 “S”	2	11,53	2,17
3	1 “S”	3	11,53	2,18
4	1 “S”	4	10,95	2,20
5	2 “SBt”	1	11,76	2,13
6	2 “SBt”	2	12,31	2,14
7	2 “SBt”	3	13,85	2,11
8	2 “SBt”	4	13,59	2,12
9	3 “SBT”	1	12,80	2,06
10	3 “SBT”	2	12,77	2,07
11	3 “SBT”	3	14,21	2,04
12	3 “SBT”	4	14,19	2,05
13	4 “Sbt”	1	12,50	2,15
14	4 “Sbt”	2	12,36	2,13
15	4 “Sbt”	3	13,86	2,13
16	4 “Sbt”	4	13,91	2,15
17	5 “SbT”	1	13,91	2,09
18	5 “SbT”	2	13,86	2,07
19	5 “SbT”	3	14,75	2,08
20	5 “SbT”	4	14,41	2,07

“S”: Solo; “SBt”: Solo+Biocarvão grosso (35t/ha); “SBT”: Solo+Biocarvão grosso (70t/ha); “Sbt”: Solo+Biocarvão fino (35t/ha); “SbT”: Solo+Biocarvão fino (70t/ha).

Com os valores de umidade e o peso específico do solo seco, construíram-se os gráficos referentes às curvas de compactação referentes a cada ensaio. A Figura 1 representa as curvas de compactação para os Ensaios 1 ao 4, referente ao solo sem Biocarvão.

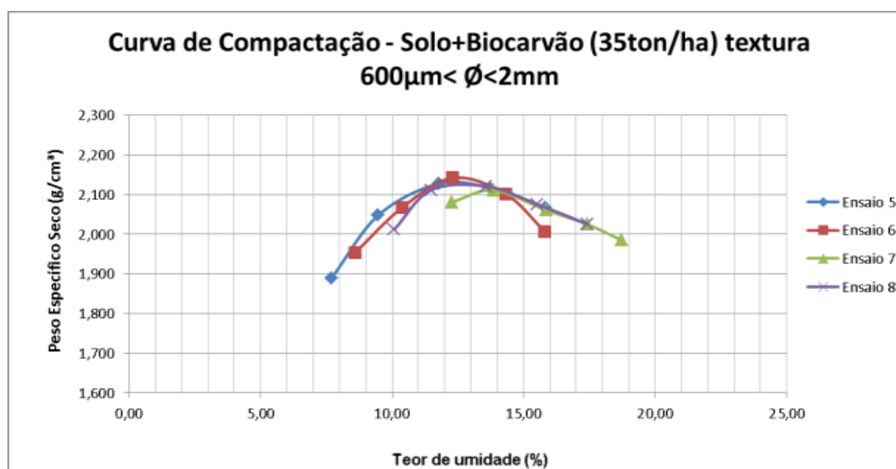
Figura 1 – Curvas de Compactação: ensaio de 1 a 4 sem adição de biocarvão.



As Curvas de Compactação dos ensaios de mesmo Solo mostraram-se semelhantes entre si como era esperado dado o controle do ensaio. A maior variação entre peso específico máximo foi de 0,033g/cm³ entre os ensaios 1 e 2. O teor de umidade ótima também teve pouca variação nos ensaios 1 ao 4, sendo 0,58% a diferença entre os ensaios (2 e 4) com maior divergência de umidade ótima.

A Figura 2 apresenta o gráfico referentes aos ensaios 5, 6, 7 e 8 representam o solo incorporado com biocarvão grosso na taxa de aplicação de 35t/ha, as curvas apresentadas demonstram os pesos específicos máximos e os teores de umidade ótimas para as mesmas amostras.

Figura 2 - Curvas de Compactação referentes aos ensaios de 5 a 8 com adição de 35 toneladas por hectare e textura de 600µm< Ø<2mm

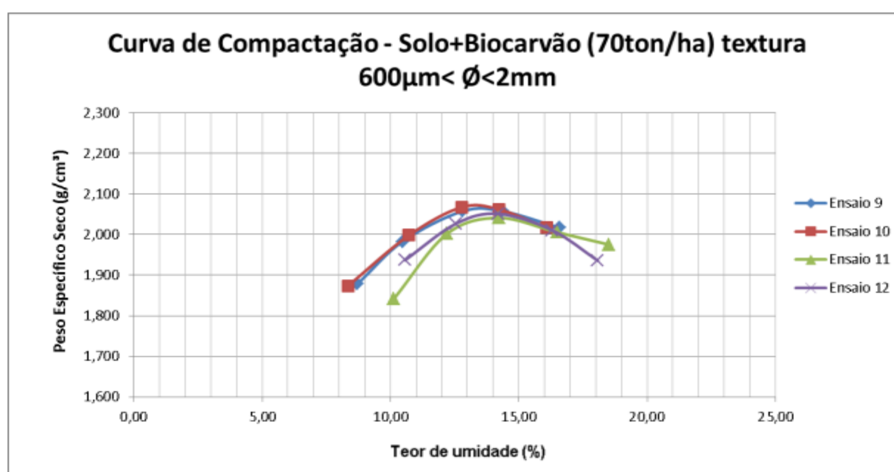


As curvas de compactação referentes ao solo incorporado com biocarvão grosso na taxa de 35 t/ha também apresentaram poucas variações de um ensaio para outro, exceto o ensaio 7 que apresentou certa redução de peso específico no primeiro teor de umidade. Entretanto, a

maior diferença entre os valores máximos de peso específico foi de 0,031g/cm³ obtidas nos ensaios 6 e 7. A maior diferença entre os valores de umidade ótima foi de 2,09%.

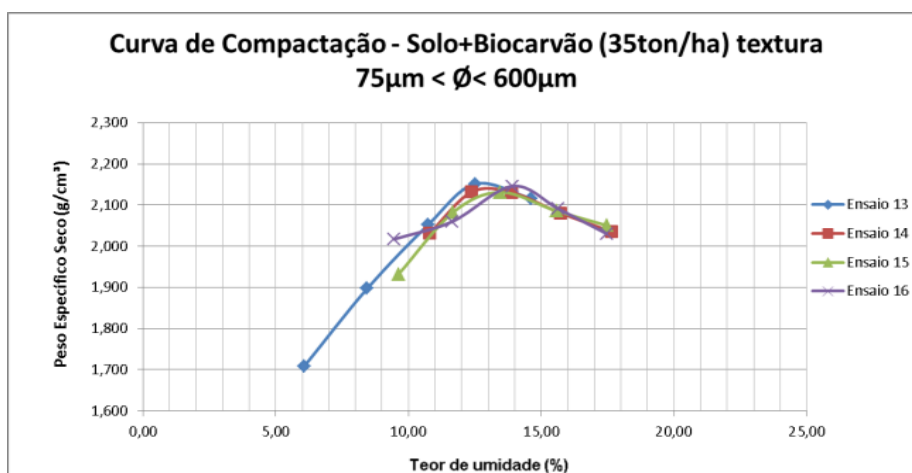
A Figura 3 apresenta as curvas de compactação referentes aos Ensaios Proctor Normal 9 ao 12, realizados com biocarvão grosso na quantidade de 70t/ha. As curvas de compactação obtidas dos ensaios com solo e Biocarvão grosso em maior quantidade convergem mais para o ramo úmido (após atingimento de peso específico máximo) do que para o ramo seco, mesmo assim a maior diferença de peso específico seco máximo foi de 0,026g/cm entre os ensaios 10 e 11. A maior variação de umidade ótima entre os ensaios 10 e 11 foi de 1,44%.

Figura 3 - Curvas de Compactação referentes aos ensaios de 9 a 12 com adição de 70 toneladas por hectare e textura de 600µm< Ø<2mm



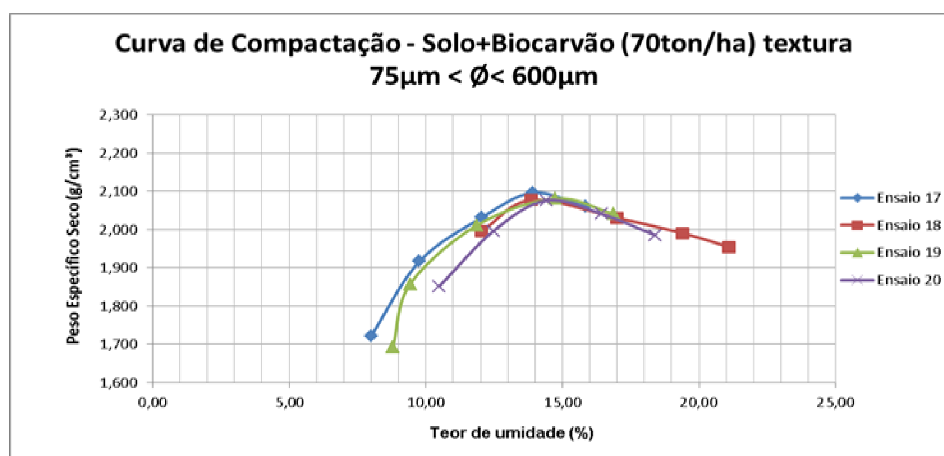
Na Figura 4 são apresentadas as curvas de compactação referentes aos Ensaios 13 ao 16, realizados com biocarvão fino na quantidade de 35t/ha. Para o solo com Biocarvão mais fino na taxa de 35t/ha, a variação máxima de peso específico seco foi ainda menor que as anteriores, apresentando uma diferença de 0,020g/cm³ entre os ensaios 13 e 15. A maior diferença entre a variação de umidade ótima foi de 1,55%.

Figura 4 - Curvas de Compactação referentes aos ensaios de 13 a 16 com adição de 35 toneladas por hectare e textura de 75µm< Ø<600µm



A Figura 5 apresenta as curvas de compactação referentes aos ensaios 17 a 20, realizados com biocarvão fino na quantidade de 70t/ha. As curvas de compactação do solo com biocarvão fino em 70t/ha foi o que apresentaram maior uniformidade de comportamento entre si, sendo que a maior variação de peso específico máximo foi de 0,020g/cm³ como no Gráfico 4, e a umidade ótima variando em apenas 0,89% entre os ensaios 18 e 19.

Figura 5 - Curvas de Compactação referentes aos ensaios de 17 a 20 com adição de 70toneladas por hectare e textura de 75µm< Ø<600µm



Além da redução de peso específico e aumento das umidades ótimas no solo com aplicação de biocarvão, observa-se também uma menor inclinação no ramo úmido (lado direito) das curvas do solo com biocarvão, demonstrando uma menor variação de peso específico com a variação de umidade. Essa propriedade pode estar associada a uma menor susceptibilidade desses solos à compactação de acordo com o aumento da umidade. A retenção de água por partículas finas de argila apresentou características similares descritos por (Kim et al, 2019).

Para o entendimento das variações dos tratamentos propostos foi realizada uma estatística univariada com auxilio do software ASSISTAT versão 7.6 beta (2011) de maneira identificar as diferenças entre as médias na interpretação dos dados obtidos de umidade ótima e peso específico máximo nos 5 tratamentos com 4 repetições cada. A comparação das médias selecionada no programa foi a partir do teste de Tukey.

Os resultados gerados pelo programa para a análise estatística do teor de umidade ótima em diferentes amostras são apresentados a Tabela 3

Tabela 3 - Análise Experimento Teor de Umidade Inteiramente Casualizado

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	18.76282	4.69070	8.8641 **
Resíduo	15	7.93770	0.52918	
Total	19	26.70052		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05) ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01) ns não significativo (p >= .05)

Os resultados gerados pelo programa para a análise estatística do peso específico máximo em diferentes amostras são apresentados a seguir na tabela 4.

Tabela 4 - Análise Experimento Peso Específico Inteiramente Casualizado

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0.04420	0.01105	78.2113 **
Resíduo	15	0.00212	0.00014	
Total	19	0.04632		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade (0.01 =< p < 0.05) ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01) ns não significativo (p >= 0.05)

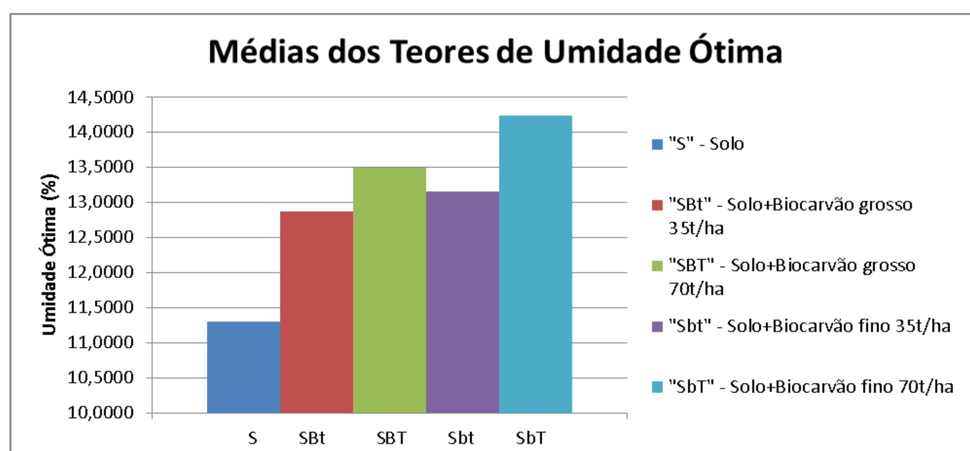
Análise Comparativa para a verificação entre as mudanças na compactação do solo em relação à aplicação de diferentes quantidades e texturas de biocarvão pode ser visualizada na Figura 6 e 7 que elucidam gráficos de barras para os tratamentos. Pode-se observar diferenças entre a umidade ótima média [%] e também no peso específico máximo médio [g/cm^3] para os diferentes tratamentos. Dessa forma, conforme a tabela 6 aplicou-se um Teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 6 - Médias dos tratamentos: umidade ótima.

Tratamento	Valores de significância
S	11.30 b
SBt	12.88 ab
SBT	13.49 a
Sbt	13.16 a
SbT	14.23 a
dms =	1.58947
MG = 13.01	CV% = 5.59
Ponto médio = 12.85	

*médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figuras 6 – Médias dos teores de umidade ótima dos diferentes tratamentos de solo mais biocarvão



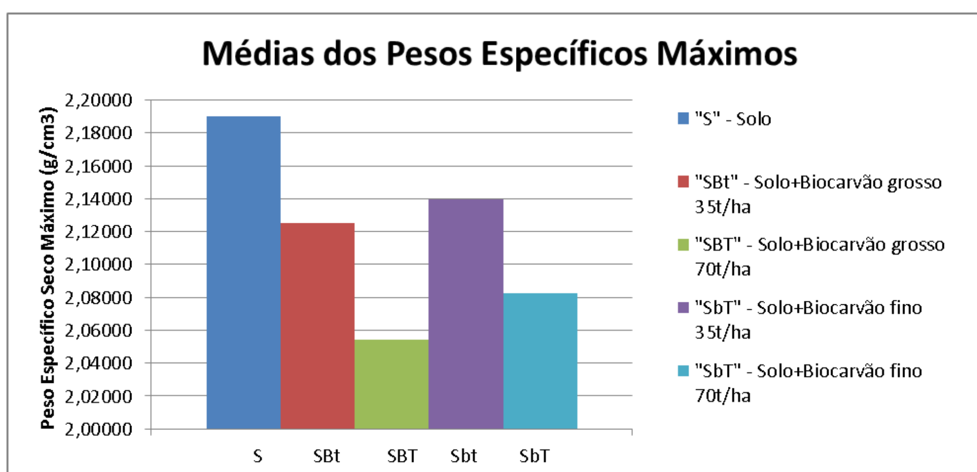
Considerando as médias dos teores de umidade observou se um aumento significativo de umidade ótima em quase todas as aplicações de biocarvão ao solo. A amostra 5 de Solo+biocarvão fino 70t/ha foi a que mais aumentou a umidade ótima. Isso significa uma maior retenção de água no solo possibilitada pelos finos de carvão, que para a mesma quantidade de água num solo sem biocarvão e outro com biocarvão, o primeiro estará mais susceptível a atingir maiores densidades quando sofrer alguma aplicação de energia. Na tabela 6, observa-se que as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si por meio do Teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 6 – Médias dos tratamentos: peso específico máximo do solo seco

Tratamento	Valores de significância
S	2.19 a
SBt	2.13 b
SBT	2.05 d
Sbt	2.14 b
SbT	2.08 c
dms =	0.02597
MG = 2.12	CV% = 0.56
Ponto médio = 2.12432	

*médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Figura 7 – Médias dos pesos específicos máximos das diferentes amostras de solo e biocarvão



As médias entre os pesos específicos máximos dos diferentes tratamentos do solo som Biocarvão foram reduzidas consideravelmente quando comparadas ao solo sem Biocarvão, principalmente para as aplicações de Biocarvão de 70t/ha. A amostra “SBT” (Solo+Biocarvão grosso 70t/ha) foi a que mais reduziu o peso específico máximo do sistema solo-Biocarvão, promovendo uma redução de massa maior que 6%.

Apesar do peso específico do Biocarvão ser muito menor que o do solo, pode aumentar o peso específico quando incorporados, já que a capacidade de compactação máxima depende

da granulometria das partículas do sistema. A explicação dos grãos de Biocarvão mais grossos serem melhores na redução de peso específico pode estar no arranjo entre as partículas grossas de Biocarvão com as partículas do solo e do atrito exercito entre elas. Em um estudo sobre erodibilidade e compactação Kumar et. al., (2019) observaram efeitos similares em análise e destacaram que a adição de biocarvão ao solo resultou na diminuição da erosão ao longo do estado seco, enquanto o oposto foi observado no estado úmido.

4. CONCLUSÃO

Os resultados representados pelas curvas de compactação e as análises estatísticas dos dados mostram redução de peso específico em todas as amostras de solo com incorporação de biocarvão, sendo a aplicação de biocarvão grosso (600µm< Ø< 2mm) na concentração de 70ton/ha a mais eficiente na redução da compactação do solo sob mesma energia do restante dos ensaios.

Nota-se também, que o teor de umidade ótima, para o máximo peso específico, aumenta em todas as adições de biocarvão no solo, sendo que as amostras contendo o biocarvão fino (75µm < Ø< 600µm) atingiram teores de umidade ótima, mais elevadas em relação aos outros ensaios. Isso representa uma maior retenção de água em solos com finos de biocarvão, o que pode ser muito interessante em solos muito permeáveis. Além disso, o aumento de teor de umidade ótima pode minimizar o risco de compactação máxima no preparo de solos agrícola em regiões muito chuvosas.

Dessa forma, o biocarvão possui potencial de redução da compactação do solo e aumento da retenção de água. Essas propriedades permitem que o biocarvão possa ser utilizado na destinação de resíduos orgânicos urbanos e no condicionamento solos. Como indicativo para produção de trabalhos futuros, sugere-se que sejam realizados testes em campo, a partir de biocarvão proveniente de diferentes resíduos vegetais e de aplicações em maiores escalas, pois a proposta de destinação de resíduos urbanos orgânicos originários de poda aplicados ao solo pode auxiliar na gestão urbana de resíduos de maneira integrada e com mais sustentabilidade.

AGRADECIMENTO

Agradecemos ao Laboratório de Pesquisa de Gestão e Recuperação de Terras do Instituto de Ciência e Tecnologia – ICTS/UNESP pelo auxílio e suporte técnico, ao grupo de pesquisa pelo apoio na redação e edição do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7182/1986 - Ensaios de Compactação**. Rio de Janeiro - RJ. 1986a.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004: (2004a). Resíduos sólidos** – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 71 p.

ANDREOLI. C.V. ANDREOLI, F.N. TRINDADE, T. V. HOPPEN, C. **RESÍDUOS SÓLIDOS: ORIGEM, CLASSIFICAÇÃO E SOLUÇÕES PARA DESTINAÇÃO FINAL ADEQUADA**, Coleção Agrinho, SP, 2014.

BRICK, S.; MADISON, W. **Biochar: Assessing the Promise and Risks To Guide U.S. Policy.** USA NRDC, 2010.

CHALUPE, M.A.C. **Análise da Implantação do Projeto "Valorização dos Resíduos Sólidos Orgânicos no Município de Florianópolis Através do Beneficiamento dos Resíduos de Podas".** Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC Curso de Graduação de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013.

GUILHEN, S.N. **Síntese e caracterização de biocarvão a partir de resíduo de côco para remoção de urânio**. Universidade de São Paulo, 2018.

KIM, H. TANG, D. GANJU, E. PREZZI, M. SALGADO, R. **Experimental investigation of matric suction in compacted fine-grained soils**, International Journal of Pavement Engineering, 20:1, 53-60, (2019) DOI: 10.1080/10298436.2016.1258242

KUMAR, H. GANESAN, S.P. BORDOLOI, S. LIN, P. MEI, G. GARG, A. SARMAH, A.K. **Erodibility assessment of compacted biochar amended soil for geo-environmental applications**, Science of The Total Environment, Volume 672, Pages 698-707, 2019.

KIM, J. S. SPAROVEK, G. LONGO, R. M. MELO, W. J. CROWLEY**, D. Bacterial diversity of terra preta and pristine forest soil from the Western Amazon**. Soil Biology & Biochemistry 39 (2007) 684–690.

MANGRICH, A. S. MAIA, C. M. B. F. NOVOTNY, E. H. **Biocarvão: as Terras Pretas dos Índios e o Sequestro de Carbono**. Ciência Hoje, 2011. v. 47, 48-52 p.Rolnik, R. Klink, J. **Crescimento econômico e desenvolvimento urbano. Novos estud. – CEBRAP.** São Paulo, 2011, 89 p.

SCHOENHOLTZ, S.H. VAN MIEGROET, H. BURGER, J.A. **A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities.** Forest Ecology and Management,Wageningen, 2000, v.138, 335-356 p.

STANGANINI, N. LOLLO, J.A. **The growth of the urban area of São Carlos/SP: the advancement of environmental degradation.** Brazilian Journal of Urban Management, 2018, 10, 118-128 p.

STEFANOSK, D.C. SANTOS, G. MARCHÃO, R.L PETTER, F. PACHECO, L. **Soil use and management and its impact on physical quality.** Rev. bras. eng. agrícola ambiental. Campina Grande Dec. 2013 vol.17, 12 p.

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo.** UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul Faculdade de Agronomia Porto Alegre, RS 2016.

VERHEIJEN, F.; JEFFERY, S.; BASTOS, A. C.; VELDE, M. V. D.; DIAFAS I. **Biochar Application to Soils: A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions.** European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, 2010.